

### *Выводы:*

1. Расчетным и экспериментальным путем установлено, что тепловая работа минераловатной вагранки протекает в режиме существенной неравномерности распределения температуры слоя, состава газовой фазы и условий теплообмена как по высоте слоя, так и в поперечном сечении агрегата.

2. В процессе получения минерального расплава в вагранке наблюдается постепенный переход с периферийного режима движения газов ближе к центральному, при котором горение кокса происходит преимущественно вдоль струй воздуха и в центральной части слоя.

### **Список использованных источников**

1. Жилин А.И. Минеральная вата / Под ред. В.А. Китайцева. – М.: Промстройиздат, 1953. – 236 с.

2. Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Бедарев С.А. Теория и практика интенсификации технологического процесса в шахтных агрегатах малого диаметра. – М.: Теплотехник, 2010. – 379 с.

3. Гордон Я.М. Тепловая работа шахтных печей с плотным слоем / Я.М. Гордон [и др.]. – М.: Металлургия, 1989. – 120 с.

УДК 666.9

**Е. А. Морозова, В. И. Матюхин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОБОЖЖЕННЫХ ПРОБ МЕЛА**

### **Аннотация**

*Основной задачей исследований устанавливалось оценить возможность использования подготовленной меловой вскрыши в качестве заменителя известняка и установить характер воздействия меловых добавок на развитие основных физикохимических преобразований в структуре обжигаемых железорудных окатышей. Выполненные дериватографические исследования с получением кривых сканирующей калориметрии при скорости нагрева 5 град/мин показали, что процесс разложения мела интенсивно начинает развиваться при температурах выше 709 °С и заканчивается уже при температуре около 798 °С. При этом общая глубина разложения минеральной основы достигает 43,87 % с образованием свободной извести.*

*На основании выполненных исследований установлены температурно-временные условия получения мела с различной степенью завершенности процесса декарбонизации. Ее анализ показывает, что с увеличением степени декарбонизации проб мела содержание активных оксидов Са и Mg непрерывно возрастает. Полученные данные показывают, что с увеличением степени завершенности процесса декарбонизации меловых проб их конечная температура га-*

шения непрерывно возрастает, что связано с реакцией образования гидроксида кальция, протекающего со значительным тепловым эффектом. С увеличением степени завершенности процесса декарбонизации время полного гашения меловых проб сокращается.

При отсутствии дополнительной связки прочность железорудных брикетов с обожженным мелом выше в 2,87 раза их базовой прочности, а необожженной только в 2,01 раза. Для существенного (в 10–11 раз) повышения прочностных показателей окатышей необходимо использовать органическую добавку в количестве не более 2%. Это может обеспечить увеличение производительности обжиговой машины и сокращение удельного расхода топлива на 1,5–2,0 % (по данным предыдущих промышленных испытаний).

**Ключевые слова:** мел, высокотемпературный обжиг, декарбонизация, гашение, прочность брикетов

### Abstract

*Was established by the main objective of researches to estimate a possibility of use of the prepared cretaceous overburden as substitute of limestone and to establish the nature of impact of cretaceous additives on development of the main physicochemical transformations in structure of the burned iron ore pellets. The executed derivatograficheskoy researches with receiving curves of the scanning calorimetry at a speed of heating of 5 hails/min. have shown that chalk decomposition process intensively begins to develop at temperatures over 709 ° C and comes to an end already at a temperature about 798 ° C. At the same time the general depth of decomposition of a mineral basis reaches 43,87 % with formation of free lime.*

*On the basis of the executed researches temperature and time conditions of receiving chalk with various degree of completeness of process of decarbonization are established. Her analysis shows that with increase in extent of decarbonization of tests I swept the content of active oxides of Sa and Mg continuously increases. The obtained data show that with increase in degree of completeness of process of decarbonization of cretaceous tests their final temperature of clearing continuously increases that is connected with reaction of formation of hydroxide of the calcium proceeding with considerable thermal effect. With increase in degree of completeness of process of decarbonization time of full clearing of cretaceous tests is reduced.*

*In the absence of an additional sheaf durability of iron ore briquettes with the burned chalk is 2,87 times higher than their basic durability, but not burned only by 2,01 times. For essential (at 10–11 times) increases in strength indicators of pellets it is necessary to use organic additive in number of no more than 2%. It can provide increase in productivity of the indurating machine and reduction of specific fuel consumption by 1,5–2,0 % (according to the previous industrial tests).*

**Key words:** chalk, high-temperature roasting, decarbonization, clearing, durability of briquettes.

Мел относится к жестким полускальным породам. Его прочность во многом зависит от его исходной влажности. Временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии изменяется от 1000 до 4500 МПа. Сухой мел имеет модуль упругости от 3000 МПа (для рыхлого мела) до 10000 МПа (для плотного) и ведет себя как упругое тело. Поэтому, тепловая обработка мела может быть осуществлена только в агрегатах, характеризующихся низким силовым воздействием на отдельные куски (вращающаяся печь) [1].

Мел в своей основе – мономинеральная порода биохимогенного происхождения, сложенная кальцитом –  $\text{CaCO}_3$ . В составе этого минерала теоретически содержатся 56,03 %  $\text{CaO}$  и 43,97 %  $\text{CO}_2$  [2].

Наиболее крупные месторождения качественного мела находятся в Белгородской области. Разведано свыше 29 месторождений мела с утвержденными запасами 1,0 млрд.т. Прогнозные запасы мела практически не ограничены. К

наиболее крупным разведанным месторождениям мела относятся Лебединское и Стойленское, где мел добывается как вскрышная порода. Одновременно с этим Лебединский ГОК потребляет значительное количество кускового известняка для производства офлюсованных окатышей.

Основной задачей наших исследований являлось оценить возможность использования подготовленной меловой вскрыши в качестве заменителя известняка и установить характер воздействия меловых добавок на развитие основных физикохимических преобразований в структуре обжигаемых железорудных окатышей. Для изменения свойств мела было предложено использовать температурную активизацию структуры мела.

Предварительные исследования качественных показателей мела вскрышных пород ОАО «Лебединский ГОК» показали, что в составе его находится более 92%  $\text{CaCO}_3$ . При этом испытываемая порода отличается непостоянством гранулометрического состава (преимущественно класса –50 мм). Отдельные элементы меловых композиций отличаются плохой смачиваемостью. Поэтому использование мела в качестве флюсующих добавок потребует дополнительных технических мероприятий.

С целью установления возможностей обжига мела были выполнены дериватографические исследования с получением кривых сканирующей калориметрии при скорости нагрева 5 град./мин. (рис.1).

Ее анализ показывает, что процесс разложения мела интенсивно начинается развиваться при температурах выше 709 °С и заканчивается уже при температуре около 798 °С. При этом общая глубина разложения минеральной основы достигает 43,87% с образованием свободной извести [3].

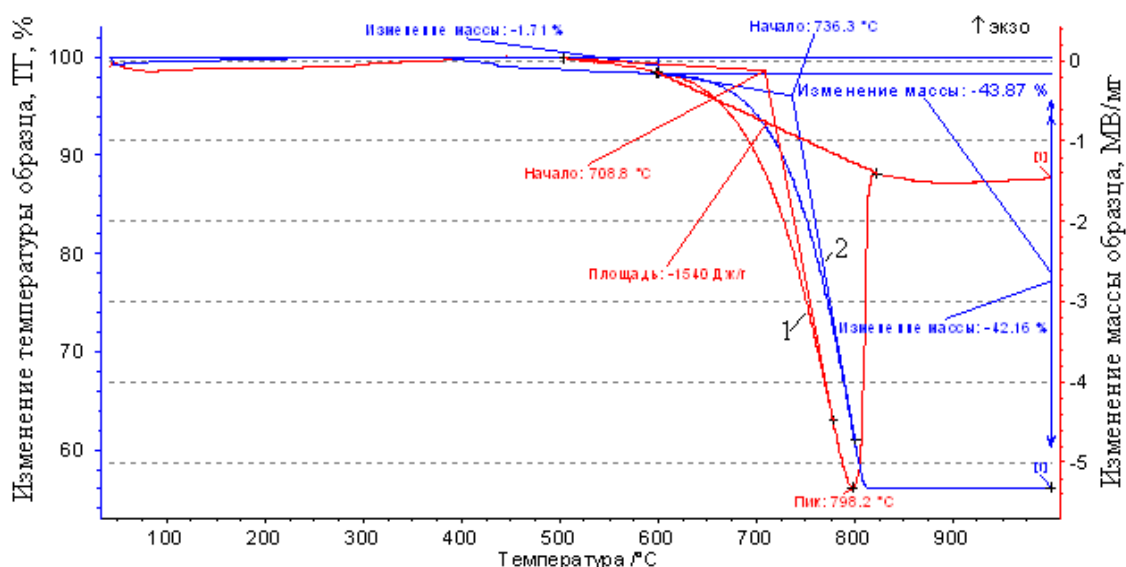


Рис. 1. Кривые ДСК исходного образца кокса без ДК:

1 – кривая потери массы (TG); 2 – кривая тепловых эффектов (DTA)

На основании выполненных исследований установлены температурно-временные условия получения мела с различной степенью завершенности процесса

декарбонизации. Были подготовлены пробы обожженного мела со степенью завершенности 0, 20, 40, 60, 80, 100 %.

Для установления изменения активности полученной извести были выполнены исследования суммарного содержания активных оксидов кальция и магния (ГОСТ 22688–77).

Навеску извести массой 1 г поместили в коническую колбу емкостью 250 мл, налили 150 мл дистиллированной воды, добавили 3–5 шт. стеклянных бус, закрыли стеклянной воронкой или часовым стеклом и нагрели 5–7 мин, не доводя до кипения. После охлаждения промыли стенки колбы и воронку (или часовое стекло) дистиллированной водой, добавили 2–3 капли спиртового раствора фенолфталеина и медленно титровали, добавляя по каплям 1Н соляную кислоту, до полного обесцвечивания раствора. Титрование считается законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор останется бесцветным. Содержание активных оксидов кальция и магния (А) в процентах вычисляется по формуле:

$$A = \frac{V \cdot t_{CaO}}{g} 100,$$

где  $V$  — объем раствора 1Н соляной кислоты, израсходованной на титрование, мл;

$t_{CaO}$  — титр 1Н раствора соляной кислоты по СаО (0,02804);

$g$  — масса навески извести, г.

Основные результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные результаты исследований содержания  
активных оксидов кальция и магния

Степень завершенности процесса декарбонизации проб мела, %	Объем раствора 1Н НСl, израсходованного на титрование, мл	Содержание активных оксидов кальция и магния в обожженной пробе, %
0	0	0
20	4,7	13,18
40	7,8	21,87
60	13,9	38,98
80	23,8	66,74
100	29,7	83,28

На рисунке 2 представлена экспериментальная зависимость изменения содержания активных оксидов кальция и магния в обожженных пробах от степени их декарбонизации.

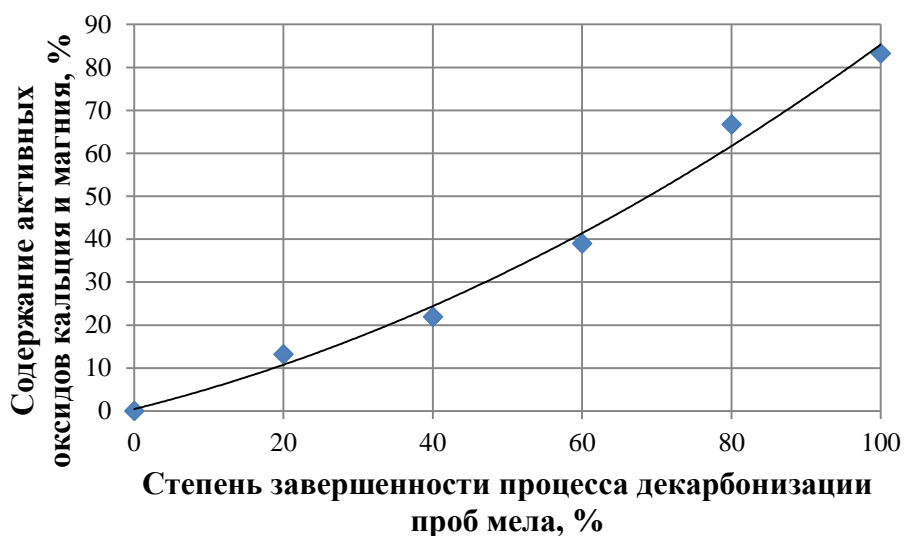


Рис. 2. Зависимость изменения содержания активных оксидов кальция и магния от степени декарбонизации проб мела

Ее анализ показывает, что с увеличением степени декарбонизации проб мела содержание активных оксидов Ca и Mg непрерывно возрастает. При этом максимальное содержание активных оксидов Ca и Mg не превышает 83,28 %.

Для изучения процесса гашения получаемой извести были проведены исследования изменения температуры и времени гашения по ГОСТ 22688–77.

Для этого был использован термостат, состоящий из фарфорового стакана емкостью мл, помещенного в сосуд большего размера. Пространство между стенками и дном стакана и внешнего сосуда заполнено термоизоляционным материалом (асбестовой мелочью, минеральной ватой и др.). Измельченная известь в количестве 10 г помещается в стакан, вливается 25 мл воды с температурой 20 °С и закрывается пробкой с плотно укрепленным в ней термометром со шкалой до 100 °С. Ртутный шарик термометра должен быть полностью погружен в реагирующую смесь. Отсчет температуры ведется через каждую минуту, начиная с момента добавления воды. Определение считается законченным, если в течение 4 мин температура не повышается более чем на 1 °С. За время гашения принимается время с момента добавления воды до начала периода, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту. Основные результаты исследований условия гашение меловой извести представлены в таблице 2.

На рисунке 3 представлена экспериментальная зависимость изменения конечной температуры гашения меловых проб от степени завершенности в них процесса декарбонизации.

Полученные данные показывают, что с увеличением степени завершенности процесса декарбонизации меловых проб их конечная температура гашения непрерывно возрастает, что связано с реакцией образования гидроксида кальция, протекающего со значительным тепловым эффектом.

На рисунке 4 представлена экспериментальная зависимость изменения времени гашения меловых проб от степени завершенности в них процессов декарбонизации.

Таблица 2

## Определение температуры и времени гашения меловых проб

Степень завер- шенности про- цесса декарбони- зации меловых проб, %	Начальная тем- пература про- цесса гашения, °C	Конечная темпе- ратура гашения меловых проб, °C	Время полного га- шения меловых обожженных проб, с.
0			
20	24	31	600
40	26	43	330
60	25	71	120
80	23	69	135
100	22,5	88,5	140

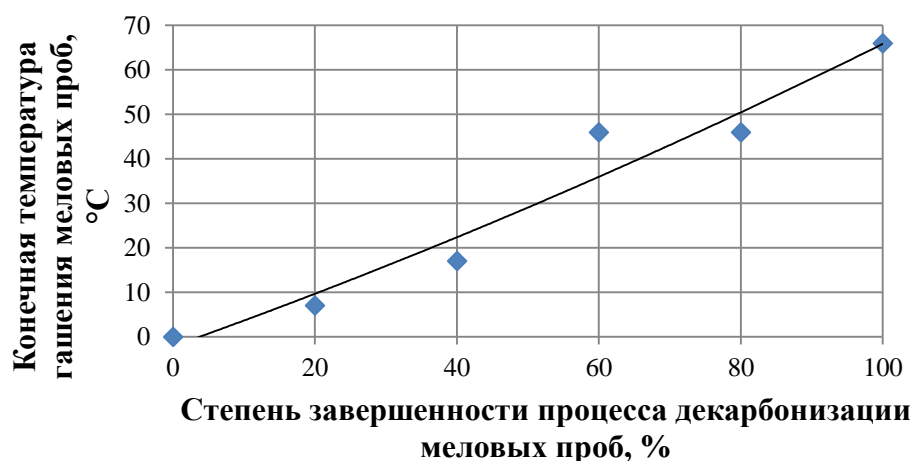


Рис. 3. Изменение конечной температуры гашения меловых проб от степени завершённости в них процесса декарбонизации

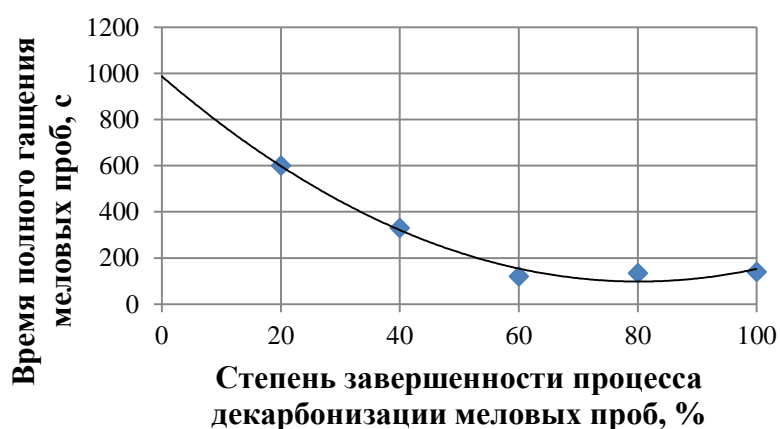


Рис. 4. Изменение времени полного гашения меловых проб от степени завершённости в них процессов декарбонизации

Представленные данные позволяют отметить, что с увеличением степени завершенности процесса декарбонизации время полного гашения меловых проб сокращается. В наибольшей степени это изменение происходит до степени обжига ниже 60%. Если учесть, что по времени гашения все сорта воздушной негашеной извести делятся на три группы: быстрогасящаяся (время гашения не более 8 минут); среднегасящаяся (время гашения не более 25 минут); медленногасящаяся (время гашения не менее 25 минут); то изменяя степень декарбонизации есть возможность изменять активность гашения с быстрогасящейся до среднегасящейся извести.

По химическому составу меловая порода может быть использована в качестве флюсующей добавки при производстве железорудных окатышей.

Для предварительной оценки возможности использования добавок мела при производстве железорудных окатышей были выполнены соответствующие испытания. Основной целью этих исследований является оценка возможности получения прочных окомкованных материалов с применением мела.

Поскольку меловые компоненты отличаются низкой комкуемостью, то необходимо разработать ряд технических мероприятий, которые позволили получить окомкованные материалы с высокой прочностью. Для этого применили методику сравнительного анализа окомкованных материалов различного состава. Чтобы исключить влияние особенностей процесса окомкования, в качестве исходных образцов использовали брикеты диаметром и высотой 15 мм, полученные методом литейного прессования предварительно перемешанных молотых шихтовых компонентов влажностью 6–8 %. Исходная технология их получения включала формирование исходной шихты. В качестве исходных (базовых) брикетов использовали мелкодисперсные материалы класса –0,064 мм, состоящие из железорудного концентрата 74 масс. %, молотого известняка 25 масс. % и бентонита 1 масс. %. При формировании шихты с применением мела его количество соответствовало количеству известняка.

Железорудный концентрат с минеральными добавками увлажнялся водой до влажности 6–10 мас. %. На увлажнённый концентрат подавалась смесь молотого известняка (мела), бентонита и связующей добавки. После их перемешивания в течение 5–7 мин они загружались в гидравлический пресс, и после воздействия на материалы гидравлического пресса давлением 150 кг/см<sup>2</sup> были получены брикеты высотой и диаметром 20 мм в количестве 5 шт. на каждый вариант.

Полученные брикеты выдерживались при комнатной температуре (24 °С) в течение одних суток, после чего подвергались испытаниям на разрывной машине. Состав исходных брикетов и основные результаты исследований представлены в таблице 3.

Сравнение данных серии 1, 2 и 3 показывает, что замену известняка мелом (необожженным или обожженным) сопровождается повышение прочности прессовок. При этом при отсутствии дополнительной связки прочность брикетов с обожженным мелом выше в 2,87 раза их базовой прочности, а необожженной только в 2,01 раза.

Появление дополнительного связующего в виде органической связки типа термопласт 5СВ обеспечивает резкое увеличение прочностных свойств получаемых брикетов. С использованием необожженного мела прочность брикетов возрастает в 11,62 раза по сравнению с прочностью базовых показателей. Применение обожженного мела способствует возрастанию прочности брикетов в 10,53 раза, что соизмеримо. Использование же органического связующего типа термопласт 5СВ в количестве 2 % при традиционной технологии приводит к возрастанию прочности сырых окомкованных материалов в 20,38 раза.

Таблица 3

Состав исходных брикетов и результаты испытаний

№ серии опытов	Содержание концентрата, %	Количество и вид флюса	Количество бентонита, %	Количество и вид связки	Прочность на раздавливание, кг/бр	Относит прочность по отношению к базе, %
1	73	25 % сырого известняка	2	—	1,74	100
2	73	25 % необж. мела	2	—	3,5	201
3	73	25 % обожж. мела со степенью обжига 20 %	2	—	5,0	287
4	71	25 % необж. мела	2	2 % полипласт 5СВ	20,72	1162
5	71	25 % обожж. мела	2	2 % полипласт 5СВ	18,32	1053
6	71	2 5% известняка	2	2 % полипласт 5СВ	35,46	2038

Таким образом, использование меловой добавки при офлюсовании железорудных окатышей способствует повышению прочности сырых окомкованных материалов в 2,0–2,9 раза. Для существенного (в 10–11 раз) повышения прочностных показателей окатышей необходимо использовать органическую добавку в количестве не более 2%. При этом открываются условия для исключения из состава исходной шихты добавок бентонитовой глины. Присутствие в составе



органической добавки углеродсодержащих компонентов обеспечивает появление во внутренней структуре окатышей дополнительного источника теплоты, которая будет способствовать интенсификации процесса нагрева как отдельных гранул, так и обжигаемого слоя в целом, что может обеспечить увеличение производительности обжиговой машины и сокращение удельного расхода топлива на 1,5–2,0 % (по данным предыдущих промышленных испытаний).

### Список использованных источников

1. Табунщиков Н.П. Производство извести. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
2. Труфанов Д.В., Тарарыков О.Ю., Афанасов В.С., Труфанов АД. Новые наполнители из мела для промышленности строительных материалов России // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 88-89.
3. Роберт С. Байтон. Химия и технология извести. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.

УДК 666.9.041:621.365.2:662.612.321/322

**И. В. Плесакин, Г. В. Воронов, И. В. Глухов**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДОЖИГАНИЯ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

### Аннотация

*Современная промышленность требует постоянного улучшения металлургических агрегатов с точки зрения энергоэффективности и экологической безопасности. Содержание горючих компонентов в дымовых газах металлургических печей создает очевидные проблемы для промышленности, так как эти газы представляют собой угрозу для экологии, надежной службе огнеупорной футеровки элементов печи, а теплота сгорания компонентов не используется в технологическом процессе. В процессе решения вышеперечисленных проблем выделяется задача, которая актуальна для многих плавильных, нагревательных и термических печей со стадийным сжиганием топлива, технологических аппаратов для подготовки металлургического сырья, а именно дожигание горючих компонентов дымовых газов. В работе нами рассматривается вопрос о возможности обеспечения атмосферой дуговой сталеплавильной печи ДСП–120 возможности дожигания непосредственно в рабочем пространстве.*

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, дымовые газы, рабочее пространство, монооксид углерода, факел, дожигание, режим.

### Abstract

*Modern industry requires constant improvement of metallurgical units in terms of energy efficiency and environmental safety. The content of combustible components in the flue gases of metallurgical furnaces creates obvious problems for the industry, since these gases are a threat to the environment, reliable service of the refractory lining of furnace elements, and the heat of combustion*